

河北省冬小麦品种 SSR 标记遗传多样性分析

李瑞奇, 杨鑫雷, 张 艳, 马峙英, 李雁鸣

(河北农业大学农学院/华北作物种质资源教育部重点实验室/河北省作物种质资源重点实验室, 保定 071001)

摘要: 利用 79 对多态性较高的 SSR 引物, 对河北省 1997-2007 年间审定的冬小麦品种及国家小麦区试抗旱对照品种晋麦 47 和洛旱 2 号, 共计 87 个冬小麦品种进行遗传多样性分析。79 对 SSR 引物共检测出 175 个等位变异位点, 每对引物可产生 1~6 条等位变异位点, 平均 2.215 条。标记位点多态性信息含量 (PIC) 变幅为 0.824~0.998, 平均为 0.941; 有效等位基因数 (N_e) 变幅为 1.644~20.333, 平均 4.708; 香农指数 (H') 变幅为 0.148~1.102, 平均为 0.544, 说明河北省冬小麦品种 SSR 遗传多样性较低。品种间遗传相似系数 (GS) 变幅为 0.184~0.899, 平均为 0.418, 其中河农 826 与石家庄 8 号间的遗传相似性最高, GS 高达 0.899, 71-3 与冀优 9618 间的遗传相似性最低, GS 为 0.184。不同育种单位培育的小麦品种平均遗传相似系数存在较大差异。UPGMA 遗传相似性聚类表明, 石家庄市小麦新品种新技术研究所培育的小麦品种与其他单位品种存在较大的遗传差异。

关键词: 河北省; 冬小麦; 品种; SSR 标记; 遗传多样性

Genetic Diversity of Winter Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.) from Hebei Province Revealed by SSR Markers

LI rui-qi, YANG Xin-lei, ZHANG Yan, MA Zhi-ying, LI Yan-ming

(Northern China Key Laboratory for Crop Germplasm Resources of Education Ministry/Crop Germplasm Resources Laboratory of Hebei Province/College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001)

Abstract: Seventy-nine SSR primers with high polymorphisms and abundant information were used to detect genetic diversity of the total 87 winter wheat cultivars, including 85 cultivars authorized in Hebei province, and the two control cultivars used in the regional test of China for drought-resistant wheat variety, Jinmai 47 and Luohan 2. A total of 175 allelic variation loci were detected in 79 SSR primers, ranging from 1 to 6 per primer pair with an average of 2.215. The polymorphism information content (PIC) ranged from 0.824 to 0.998, with an average of 0.941. The effective number of alleles for each locus (N_e) varied from 1.644 to 20.333, with an average of 4.708. The Shannon-Weaver diversity index, also referred to as Shannon-Weiner index (H') ranged from 0.148 to 1.102 and averaged 0.544. These indicated that genetic diversity of 87 tested cultivars was low based on SSR markers. The genetic similarity coefficients (GS) varied from 0.184 to 0.899, with an average of 0.418. Among them, the GS(0.899) between Henong 826 and Shijiazhuang 8 was the highest, but the GS(0.184) between 71-3 and Gaoyou 9618 was the lowest. The GS averages were different among the cultivars released from different breeders. The UPGMA cluster indicated that genetic difference was high between the cultivars from Shijiazhuang New Wheat Variety and Technology Research Institute and those from other breeders.

Key words: Hebei province; winter wheat; cultivars; SSR marker; genetic diversity

小麦种质资源是小麦育种工作的物质基础。某区域审定的小麦品种因其特殊的地方适应性, 成为该

区域种质资源的重要组成部分。河北省地处海河平原, 属黄淮小麦玉米两熟制区最北部, 其光、温、水资

收稿日期: 2013-08-14 修回日期: 2013-09-15 网络出版日期: 2014-04-08

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20140408.0853.025.html>

基金项目: 国家粮食丰产科技工程项目 (2011BAD16B08)

第一作者研究方向为作物种质资源的评价与利用, 作物高产优质理论与技术。E-mail: li-rq69@163.com

通信作者: 李雁鸣, 研究方向为作物高产优质理论与技术。E-mail: nxzwst@hebau.edu.cn

马峙英, 研究方向为作物目标性状遗传与改良。E-mail: mzhy@hebau.edu.cn

源相对较少,冬小麦生产中存在山前平原高产、低平原和冀东北中低产区的产量差异,而且土壤类型、耕作条件亦有很大不同。特殊的地理位置和气候条件,形成了育种目标各具特色的众多育种单位。这些育种单位多年培育的小麦品种群构成了河北省颇具特色的区域小麦种质资源。1982 年以来,河北省冬小麦育种取得了较大进展,共审定 180 多个品种,这些品种对河北省乃至黄淮海麦区的小麦生产发挥了重要作用。明确河北省审定冬小麦品种的遗传多样性水平及品种间的差异是选择亲本、培育新品种的重要基础。

SSR (simple sequence repeats) 标记以其随机分布于整个基因组,位点多、多态性丰富,操作简单,稳定性好等优点,广泛应用于遗传多样性分析^[1-2]、目的基因定位^[3]、品种资源鉴定^[4]、遗传图谱构建等方面^[5-8]。前人围绕不同来源小麦品种的 SSR 遗传多样性开展了一些研究,结果表明,澳大利亚^[9]、美国^[10]的小麦品种的平均遗传距离均大于我国黄淮海区的品种。研究明确了我国小麦抗旱种质^[11]、耐盐品种^[12]、地方品种^[13]、优质品种^[14]和彩色小麦^[15]等特异小麦种质群的遗传多样性及其品种间的遗传相似性。西南麦区小麦品种间遗传相似系数变幅较大(0.373 ~ 0.794),存在着不同程度的遗传差异^[16]。黄淮海区小麦品种间遗传差异较小,遗传基础狭窄^[2,17-18]。河南^[19]、山东^[20]、四川^[21]、新疆^[22]、陕西^[23]、青海^[24]等省(区)育成的小麦品种均表现为遗传多样性水平较低。针对河北省审定的小麦品种的 SSR 遗传多样性研究较少,李远等^[25]利用 86 对 SSR 引物分析了近 60 年来河北省审(认)定的 125 个小麦品种的遗传多样性,认为河北省小麦品种的遗传多样性水平较低,品种间的亲缘关系较近。目前,缺少对近期育成冬小麦品种组成的资源群体的遗传多样性分析。因而,本研究以不同的 SSR 引物和近期(1997-2007 年)河北省审定的 85 个冬小麦品种以及国审抗旱组对照品种洛旱 2 号、晋麦 47 为材料,研究分析了河北省近期审定的冬小麦品种的遗传多样性,以期为这些冬小麦品种的育种和生产利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 1997-2007 年间河北省审定的 85 个冬小麦品种(占此期间审定品种总数的 91.4%),以及 2007-2008 年度国家小麦品种区域试验抗旱组对照品种晋麦 47 和洛旱 2 号。所有品种均由各育成单位提供,供试冬小麦品种名称及其来源见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 DNA 提取 采用 CTAB 法^[26]提取小麦叶片基因组 DNA。通过 Nano Drop 紫外分光光度计检测 DNA 的浓度和纯度。

1.2.2 SSR 分析 从 M. S. Röder 等^[5]发表的 SSR 标记序列中选取 SSR 引物,筛选出 79 对多态性高的引物用于检测供试材料。

PCR 反应总体积为 20 μ L,反应体系为:10 \times buffer(含 $MgCl_2$) 2 μ L,2.5 mmol/L 的 dNTP 1 μ L,5 U/ μ L 的 *Taq* 酶 0.2 μ L,2 μ mol/L 的引物 2 μ L,20 ng/ μ L 模板 DNA 2 μ L,ddH₂O 12.8 μ L。PCR 反应程序为:95 $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94 $^{\circ}$ C 变性 45 s,55 ~ 60 $^{\circ}$ C(视不同引物而定)退火 45 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 1 min,共 35 个循环,72 $^{\circ}$ C 再延伸 10 min,4 $^{\circ}$ C 保存。PCR 扩增产物采用 8% 非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳分离,银染法染色。

1.2.3 数据处理 根据微卫星引物扩增结果,建立 SSR 的 0/1 数据库。每个样品的电泳条带按有或无记录,电泳条带有赋值为 1,无为 0。统计方法和公式如下:(1)每个 SSR 位点的多态信息量(PIC, polymorphism information content), $PIC = 1 - \sum P_i^2$ 。其中 P_i 为某个 SSR 位点的第 i 个等位变异出现频率占该位点全部等位变异出现频率的比率。(2)每个 SSR 位点的有效等位基因数(N_e), $N_e = 1 / \sum p_i$ 。(3)Shannon-Weaver diversity index(H')^[27], $H' = - \sum P_i \ln p_i$ 。第 i 个等位变异出现的频率,反映了多态性位点的遗传多样性程度。(4)品种间遗传相似系数(GS, genetic similarity coefficients)^[28],公式为 $GS = 2N_{ij} / (N_i + N_j)$,其中 N_{ij} 为品种 i 和品种 j 共有的扩增片段数目, N_i 为品种 i 中出现的扩增条带片段数目, N_j 为品种 j 中出现的扩增条带片段数目。(5)利用 GS 值按非加权成对群算术平均法(UPGMA, unweight pair method using arithmetic averages)进行遗传相似性聚类分析。统计分析采用 NTSYS-pc 2.11 软件进行。

2 结果与分析

2.1 河北省冬小麦品种 SSR 位点的多态性

从 189 对引物中筛选出多态性较高的 79 对 SSR 引物用于本试验。利用这些引物对 87 份冬小麦进行扩增,共检测出 175 个多态性等位位点,每对引物检测到 1 ~ 6 个位点,平均为 2.215 个,引物 barc176 在部分品种中的扩增结果如图 1 所示。检测到多态性等位位点最多的是 barc170,共检测到 6 个等位位点,其次是 barc77、barc78、barc174、barc178 和 gwm624,分别检测到 5 个等位位点(表 2)。SSR 引

表 1 供试冬小麦品种及来源

Table 1 Wheat cultivars and their sources in the study

编号 No.	品种 Cultivar	选育单位 Breeding unit	审定时间(年) Authorized year	编号 No.	品种 Cultivar	选育单位 Breeding unit	审定时间(年) Authorized year
1	梁麦 2 号	河北省藁城市梁家庄村	1999	44	科麦 1 号	河北省农林科学院旱作所	2003
2	小偃 81	中国科学院遗传与发育生物学研究所	2005	45	河农 341	河北农业大学	1998
3	秦麦 3 号	河北职业技术师院	2000	46	晶白麦 1 号	河北省藁城市农业科学研究所	2003
4	高优 503	中国科学院石家庄农业 现代化所、西北植物研究所	1998	47	廊研 43	廊坊市农林科学院	2005
5	北京 0045	中国农业科学院作物所	2004	48	邯 5316	河北省邯郸市农科院	1999
6	鲲鹏一号	河北鲲鹏种业有限公司	2007	49	石家庄 10 号	石家庄市农业科学院	2003
7	河农 326	河北农业大学	1997	50	石新 163	石家庄市小麦新品种新技术研究所	1997
8	石麦 12	石家庄市农业科学院	2004	51	河农 859	河北农业大学	1998
9	石新 828	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2005	52	河农 4198	河北农业大学	2005
10	冀 6203	河北省农林科学院作物所	2001	53	冀丰 703	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2005
11	藁优 9618	河北省藁城市农业科学研究所	2005	54	宝麦 3 号	河北科技师范学院	2003
12	花 521	河北省农林科学院作物所	2000	55	邯 4589	河北省邯郸市农科院	1998
13	藁优 8901	河北省藁城市农业科学研究所	1998	56	石优 17	石家庄市农业科学院	2007
14	石 4185	石家庄市农业科学院	1997	57	衡 7228	河北省农林科学院旱作所	2003
15	石家庄 9 号	石家庄市农业科学院	2002	58	河农 822	河北农业大学	2004
16	洛旱 2 号	河南省洛阳市农业科学研究所	2001	59	邯 7086	河北省邯郸市农科院	2006
17	邯麦 9 号	河北省邯郸市农科院	2003	60	石新 616	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2008
18	衡 4338	河北省农林科学院旱作所	2004	61	藁优 9409	河北省藁城市农业科学研究所	2002
19	石新 733	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2001	62	冀 7369	河北省农林科学院作物所	2007
20	石麦 16	石家庄市农业科学院	2005	63	河农 972	河北农业大学	1997
21	良星 99	山东省德州市良星种子研究所	2004	64	唐麦 6 号	唐山市农业科学院	2003
22	石新 539	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2003	65	NC-2	邢台市农业科学院	2004
23	科农 9204	中国科学院遗传与发育生物学研究所	2002	66	冀 5385	河北省农林科学院作物所	2002
24	邯 6172	河北省邯郸市农科院	2001	67	衡 6599	河北省农林科学院旱作所	2006
25	邯麦 11 号	河北省邯郸市农科院	2007	68	衡观 35	河北省农林科学院旱作所	2004
26	邯 4564	河北省邯郸市农科院	1998	69	沧核 030	沧州市农科院	2002
27	石麦 14	石家庄市农业科学院	2004	70	金麦 54	河北金穗种业开发有限公司	2007
28	中麦 9 号	中国农业科学院作物所	1997	71	藁优 9908	河北省藁城市农业科学研究所	2005
29	衡 95 观 26	河北省农林科学院旱作所	2001	72	保 4017	保定市农业科学研究所	2001
30	师栾 02-1	河北师范大学、栾城县原种场	2004	73	乐 639	河北省乐亭县种子公司	1998
31	衡优 18	河北省农林科学院旱作所	2004	74	白硬冬 2 号	河北省藁城市农业科学研究所	2003
32	沧麦 6004	沧州市农科院	2003	75	71-3	河北省农林科学院旱作所	1997
33	石新 618	石家庄市小麦新品种新技术研究所	2005	76	京 411	北京市种子公司	1997
34	科农 213	中国科学院遗传与发育生物学研究所	2001	77	冀 5265	河北省农林科学院作物所	2007
35	沧麦 6002	沧州市农科院	2007	78	沧麦 6001	沧州市农科院	1998
36	冀 5579	河北省农林科学院作物所	2003	79	邯 3475	河北省邯郸市农科院	2000
37	河农 826	河北农业大学	2007	80	晋麦 47	山西省农业科学院	1998
38	石家庄 8 号	石家庄市农业科学院	2001/2007	81	金麦 1 号	河北金穗种业开发有限公司	2005
39	沧麦 119	沧州市农科院	2005	82	衡 4041	石家庄市农业科学院	1997
40	冀麦 38	石家庄市农业科学院	1996	83	科农 1093	中国科学院遗传与发育生物学研究所	2005
41	中优 9507	中国农业科学院作物所	2001	84	石麦 15	石家庄市农业科学院	2005/2007
42	保麦 9 号	保定市农业科学研究所	2006	85	藁优 9415	河北省藁城市农业科学研究所	2003
43	唐麦 8 号	唐山市农业科学院	2006	86	河农 825	河北农业大学	2007
				87	沧麦 026	沧州市农科院	2001

物的多态性信息含量 (PIC) 变幅为 0.824 ~ 0.998, 平均为 0.941; 其中, PIC 值高于平均值的 SSR 引物 44 对, 占全部引物的 55.7%。 N_e 变幅为 1.644 ~ 20.333, 平均为 4.708; 其中 N_e 高于平均值的 SSR 引物 27 个, 占全部引物的 34.18%。 H' 变幅为 0.148 ~ 1.102, 平均为 0.544, H' 大于 1.00 的 SSR 位点只有 $barc59$ (1.102)、 $barc174$ (1.046)、 $barc178$ (1.031) 和

$gwm624$ (1.018)。

在小麦 A、B、D 3 个基因组中, SSR 位点平均变异存在 $B(2.234) > A(2.000) > D(1.963)$ 的关系; PIC 平均值表现为 $B(0.946) > D(0.942) > A(0.941)$ 。这说明, 在河北省小麦品种 A、B、D 组染色体中, SSR 位点发生的变异以 B 染色体组表现最为明显, 其 SSR 位点多态性信息含量相对较高。



M: DNA 分子量标记; 1 ~ 49: 品种编号
M: DNA molecular weight marker, 1 ~ 49: Cultivars number

图 1 引物 $barc176$ 对部分小麦品种的扩增结果

Fig. 1 SSR markers amplified by $barc176$ primer in part of wheat cultivars

表 2 引物所在染色体、扩增等位点数和 PIC 值

Table 2 Location of SSR primers on chromosomes, the number of alleles, and PIC value

引物 Primer	等位基 因数 Allele No.	多态性位点数 Polymorphic alleles	多态信 息量 PIC	等位基 因数 N_e	香农 指数 H'	引物 Primer	等位基 因数 Allele No.	多态性位点数 Polymorphic alleles	多态信 息量 PIC	等位基 因数 N_e	香农 指数 H'
$barc4$	4	1	0.986	8.457	0.253	$barc147$	3	2	0.830	1.845	0.664
$barc5$	2	1	0.840	2.500	0.367	$barc148$	4	1	0.977	6.553	0.287
$barc7$	2	1	0.971	5.833	0.302	$barc151$	5	3	0.965	3.148	0.705
$barc8$	2	1	0.918	3.486	0.358	$barc163$	5	2	0.977	4.783	0.466
$barc10$	4	2	0.940	3.096	0.563	$barc164$	4	3	0.867	1.989	0.763
$barc13$	2	1	0.989	9.700	0.234	$barc165$	3	2	0.869	2.225	0.599
$barc18$	4	3	0.917	2.145	0.835	$barc167$	2	1	0.950	4.480	0.335
$barc20$	3	1	0.997	16.818	0.168	$barc170$	8	6	0.978	3.148	0.888
$barc21$	2	1	0.850	2.582	0.367	$barc174$	6	5	0.928	1.978	1.046
$barc24$	6	3	0.976	3.868	0.624	$barc176$	4	3	0.902	1.989	0.854
$barc28$	2	1	0.824	2.381	0.364	$barc178$	6	5	0.904	1.853	1.031
$barc32$	5	4	0.914	2.000	0.939	$barc180$	3	2	0.933	3.122	0.533
$barc45$	3	1	0.998	20.333	0.148	$barc181$	4	3	0.905	2.012	0.849
$barc49$	3	2	0.900	2.279	0.656	$barc182$	4	3	0.905	2.012	0.851
$barc55$	4	1	0.998	9.419	0.238	$barc186$	2	1	0.973	6.118	0.296
$barc56$	5	2	0.962	3.806	0.518	$barc195$	4	1	0.974	6.220	0.294
$barc59$	5	4	0.896	1.644	1.102	$barc196$	3	2	0.985	2.122	0.356
$barc67$	3	2	0.973	4.783	0.447	$barc197$	3	2	0.940	2.891	0.606
$barc68$	6	4	0.966	3.096	0.761	$barc206$	3	1	0.988	9.286	0.240
$barc70$	4	3	0.909	2.088	0.837	$barc229$	4	3	0.914	1.989	0.892
$barc72$	6	3	0.970	3.868	0.574	$barc232$	4	3	0.898	2.024	0.832
$barc73$	3	2	0.912	2.582	0.601	$efd75$	4	3	0.907	2.061	0.836
$barc75$	3	1	0.969	5.703	0.305	$gwm71$	4	2	0.989	6.800	0.384
$barc76$	2	1	0.993	11.875	0.208	$gwm114$	6	4	0.954	2.706	0.824
$barc77$	7	5	0.970	2.955	0.856	$gwm165$	3	1	0.984	7.960	0.261
$barc78$	7	5	0.958	2.955	0.786	$gwm194$	2	1	0.911	3.351	0.361
$barc80$	7	4	0.979	3.966	0.651	$gwm497$	5	2	0.958	3.486	0.554
$barc81$	5	3	0.989	5.833	0.478	$gwm609$	3	1	0.977	6.613	0.286
$barc87$	2	1	0.897	3.122	0.365	$gwm624$	6	5	0.925	2.012	1.018
$barc95$	2	1	0.968	5.579	0.308	$wmc11$	3	1	0.956	4.783	0.327
$barc101$	3	2	0.839	1.770	0.712	$wmc48$	3	1	0.995	14.385	0.185
$barc108$	5	4	0.900	1.989	0.886	$wmc59$	2	1	0.950	4.480	0.335
$barc117$	4	2	0.993	8.565	0.331	$wmc145$	2	1	0.976	6.438	0.289
$barc121$	3	1	0.997	16.818	0.168	$wmc150$	3	1	0.914	3.417	0.360
$barc127$	5	3	0.962	3.122	0.698	$wmc201$	5	4	0.932	2.061	0.991
$barc128$	5	1	0.992	10.943	0.219	$wmc243$	2	1	0.880	2.891	0.367
$barc134$	4	2	0.950	3.203	0.576	$wmc256$	3	1	0.969	5.703	0.305
$barc140$	4	3	0.897	2.000	0.829	$wmc469$	3	1	0.965	5.350	0.314
$barc141$	4	2	0.925	2.977	0.542	$wmc533$	4	2	0.957	3.522	0.546
$barc142$	4	3	0.916	2.012	0.888	平均 Mean	3.8354	2.215	0.941	4.708	0.544

2.2 河北省冬小麦品种间的遗传相似性

由表 3 可知,河北省冬小麦品种间的遗传相似系数变幅为 0.184~0.899,其中河农 826 与石家庄 8 号间的遗传相似性最高,遗传相似系数高达 0.899;71-3 与冀优 9618 间的遗传相似性最低,GS

值仅为 0.184。平均为 0.418,共有 42 个品种的平均 GS 值高于供试材料的平均值,占参试品种的 48.28%。这些结果表明,近 10 年来河北省育成冬小麦品种的遗传差异较小。

表 3 供试冬小麦品种的遗传相似系数

Table 3 Genetic similarity of the tested winter wheat cultivars

编号 No.	品种 Cultivar	遗传相似系数 GS coefficient			编号 No.	品种 Cultivar	遗传相似系数 GS coefficient		
		平均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.			平均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.
1	梁麦 2 号	0.405	0.731(63)	0.240(52)	45	河农 341	0.388	0.515(44)	0.268(75)
2	小偃 81	0.411	0.574(31)	0.188(22)	46	晶白麦 1 号	0.396	0.556(85)	0.222(49)
3	秦麦 3 号	0.367	0.491(25)	0.231(47)	47	廊研 43	0.437	0.585(71)	0.231(3)
4	高优 503	0.409	0.559(76)	0.270(36)	48	邯 5316	0.417	0.761(59)	0.242(80)
5	北京 0045	0.421	0.635(28)	0.214(72)	49	石家庄 10 号	0.396	0.583(18)	0.198(9)
6	鲲鹏一号	0.382	0.673(21)	0.269(40)	50	石新 163	0.386	0.569(22)	0.257(37)
7	河农 326	0.422	0.603(17)	0.233(9)	51	河农 859	0.439	0.610(35)	0.286(19)
8	石麦 12	0.418	0.596(14)	0.272(21)	52	河农 4198	0.401	0.533(77)	0.240(1)
9	石新 828	0.343	0.788(19)	0.198(49)	53	冀丰 703	0.405	0.566(50)	0.224(58)
10	冀 6203	0.439	0.729(67)	0.255(22)	54	宝麦 3 号	0.387	0.495(56)	0.259(31)
11	冀优 9618	0.379	0.820(41)	0.184(75)	55	邯 4589	0.427	0.750(24)	0.277(9)
12	花 521	0.382	0.552(77)	0.244(87)	56	石优 17	0.394	0.566(72)	0.260(46)
13	冀优 8901	0.389	0.661(61)	0.274(26)	57	衡 7228	0.460	0.638(82)	0.318(11)
14	石 4185	0.458	0.852(27)	0.305(21)	58	河农 822	0.399	0.555(2)	0.224(53)
15	石家庄 9 号	0.398	0.654(37)	0.234(36)	59	邯 7086	0.424	0.761(48)	0.208(22)
16	洛早 2 号	0.414	0.862(34)	0.259(22)	60	石新 616	0.390	0.592(19)	0.267(73)
17	邯麦 9 号	0.448	0.708(24)	0.217(9)	61	冀优 9409	0.403	0.661(13)	0.269(67)
18	衡 4338	0.453	0.896(82)	0.252(3)	62	冀 7369	0.443	0.722(27)	0.248(21)
19	石新 733	0.369	0.788(9)	0.222(77)	63	河农 972	0.408	0.731(1)	0.206(9)
20	石麦 16	0.443	0.604(64)	0.305(36)	64	唐麦 6 号	0.444	0.865(28)	0.243(22)
21	良星 99	0.363	0.673(6)	0.243(77)	65	NC-2	0.445	0.807(26)	0.257(9)
22	石新 539	0.344	0.673(19)	0.188(2)	66	冀 5385	0.393	0.509(83)	0.272(37)
23	科农 9204	0.457	0.753(40)	0.264(21)	67	衡 6599	0.421	0.729(10)	0.194(22)
24	邯 6172	0.445	0.750(55)	0.260(9)	68	观 35	0.423	0.698(62)	0.275(43)
25	邯麦 11 号	0.436	0.718(10)	0.230(22)	69	沧核 030	0.459	0.790(39)	0.309(72)
26	邯 4564	0.449	0.807(65)	0.229(9)	70	金麦 54	0.424	0.679(81)	0.238(9)
27	石麦 14 号	0.469	0.852(14)	0.312(3)	71	冀优 9908	0.437	0.607(35)	0.291(19)
28	中麦 9 号	0.434	0.865(64)	0.250(22)	72	保 4017	0.375	0.566(56)	0.214(5)
29	衡 95 观 26	0.444	0.764(18)	0.268(9)	73	乐 639	0.415	0.535(42)	0.267(60)
30	师栗 02-1	0.459	0.730(39)	0.308(80)	74	白硬冬 2 号	0.409	0.604(81)	0.252(22)
31	衡优 18	0.407	0.600(51)	0.232(22)	75	71-3	0.384	0.621(21)	0.184(11)
32	沧麦 6004	0.404	0.648(70)	0.229(49)	76	京 411	0.396	0.569(5)	0.238(40)
33	石新 618	0.398	0.554(57)	0.297(52)	77	冀 5265	0.462	0.685(23)	0.222(19)
34	科农 213	0.416	0.862(16)	0.283(22)	78	沧麦 6001	0.437	0.677(35)	0.269(43)
35	沧麦 6002	0.491	0.677(78)	0.342(9)	79	邯优 3475	0.443	0.644(82)	0.302(9)
36	冀 5579	0.394	0.531(2)	0.234(15)	80	晋麦 47	0.376	0.551(81)	0.241(15)
37	河农 826	0.418	0.899(38)	0.240(43)	81	金麦 1 号	0.437	0.679(70)	0.294(49)
38	石家庄 8 号	0.427	0.899(37)	0.248(43)	82	衡 4041	0.459	0.860(18)	0.262(32)
39	沧麦 119	0.454	0.797(44)	0.253(72)	83	科农 1093	0.441	0.617(84)	0.328(67)
40	冀麦 38	0.412	0.753(23)	0.213(9)	84	石麦 15	0.437	0.740(40)	0.243(19)
41	中优 9507	0.406	0.820(11)	0.255(75)	85	冀优 9415	0.410	0.654(81)	0.280(22)
42	保麦 9 号	0.445	0.649(44)	0.270(36)	86	河农 825	0.427	0.617(18)	0.260(74)
43	唐麦 8 号	0.374	0.647(64)	0.240(37)	87	沧麦 026	0.441	0.706(39)	0.244(12)
44	科麦 1 号	0.450	0.797(39)	0.286(72)	平均 Mean		0.418		

括号内数字为品种编号

Digital shown in bracket represents cultivar number

2.3 河北省冬小麦品种基于 SSR 多态性的分子聚类

依据相似系数对 87 个冬小麦品种进行聚类分析表明,79 对 SSR 引物能将 87 个品种相互分开。在遗传相似系数 0.416 时,参试品种被划分为 6 个

类群。类群 I 包含 47 个品种,类群 II 包含 20 个品种,类群 III 包含 5 个品种,类群 IV 包含 2 个品种,类群 V 包含 7 个品种,类群 VI 包含 6 个品种。在遗传相似系数 0.513 时,类群 I 被划分为 8 个亚类(图 2)。

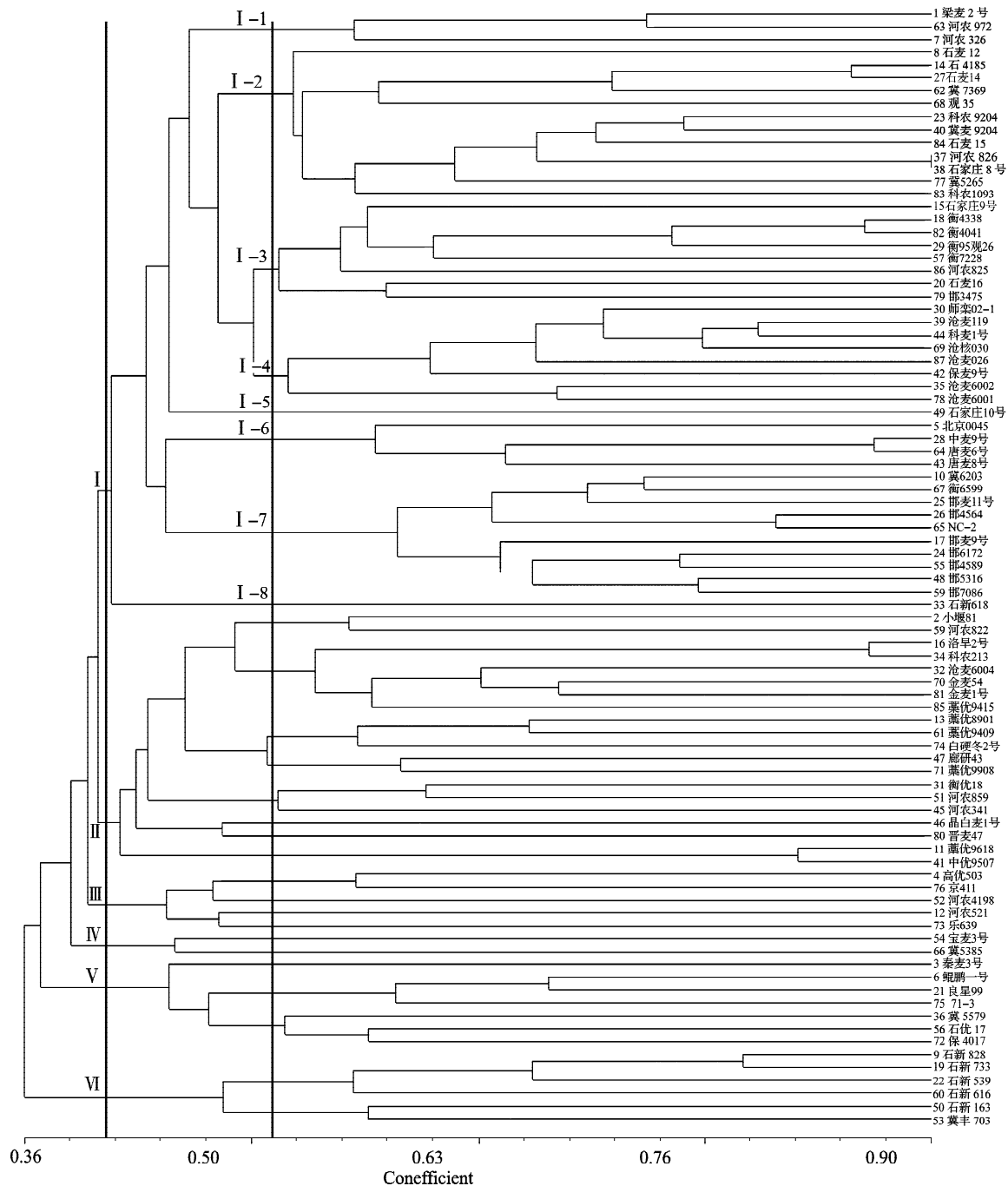


图 2 87 份种质的 SSR 标记聚类分析图

Fig. 2 Cluster dendrogram of 87 winter wheat accessions based on SSR markers

分析供试品种的来源单位,发现育成 6 个以上品种的单位有 8 个,占参试品种来源单位总数的 36.4%。其中,藁城市农业科学研究所选育的品种

遗传基础最狭窄,7 个品种全部聚于 II 类,占该类品种总数的 35%;其次为邯郸市农业科学研究院选育的小麦品种,7 个品种聚于 I-7 类,1 个品种聚于 I-

3 类。河北省农林科学院粮油作物研究所选育的小麦品种遗传基础最为丰富,几乎均匀分布于聚类图中。石家庄市小麦新品种新技术研究所选育的 7 个品种中,6 个品种独立聚成 VI 类,石新 618 单独聚类于 I-8,说明该单位选育的小麦品种与其他单位的品种存在较大的异质性。

育种单位内部 GS 变化范围为 0.418 ~ 0.583, 变异系数 (CV) 为 10.77%。其中河北农业大学育成品种的平均 GS 最小,邯郸市农科院育成品种的平均 GS 最大(表 4)。从品种审定年份分析可知,1997-2007 年间, GS 变化范围在 0.384 ~ 0.515 之间,年际间平均值为 0.429,变异系数 (CV) 为 8.60%,说明河北省此间审定的小麦品种年际间遗传相似系数变化不大(表 5)。

表 4 不同育种单位小麦品种群的平均遗传相似系数

Table 4 The average of genetic similarity from the different authorized unit

选育单位 Breeding unit	品种数量 Cultivar No.	平均相似系数 Average of GS
河北农业大学	8	0.418
石家庄市农业科学院	10	0.485
石家庄市小麦新品种新技术研究所	7	0.502
河北省邯郸市农科院	8	0.583
藁城市农业科学研究所	7	0.479
河北省农林科学院旱作所	8	0.487
河北省农科院作物所	9	0.430
河北省沧州市农科院	6	0.532
平均 Mean		0.489

表 5 参试品种审定年际间平均遗传相似系数

Table 5 The average genetic similarity of wheat cultivars authorized among different years

审定年份 Authorized year	品种数量 Cultivar No.	平均相似系数 Average of GS
1997	8	0.515
1998	9	0.420
1999	2	0.460
2000	3	0.384
2001	10	0.409
2002	5	0.415
2003	12	0.399
2004	10	0.421
2005	13	0.418
2006	4	0.425
2007	11	0.461
平均 Mean		0.429

3 讨论

本研究对河北省 1997-2007 年间审定的冬小麦品种进行了遗传多样性分析,研究结果与我国其他省区审定的小麦品种的 SSR 标记多态性和供试小麦品种的遗传相似性均存在不同程度的差异。河南省小麦品种 31 个 SSR 标记位点的等位变异数目平均 6.000 个,品种间遗传距离平均 0.404^[19]。山东省小麦品种 68 个 SSR 标记位点的等位变异数目变幅平均 3.647, PIC 平均 0.562,品种间平均 GS 为 0.593 ~ 0.918^[20]。四川省小麦品种 60 个 SSR 标记位点的等位变异数目平均 1.800 个,品种间平均 GS 为 0.420 ~ 0.970,平均 0.690^[21]。新疆维吾尔自治区小麦品种 42 个 SSR 标记位点的等位变异数目平均 7.548, PIC 变幅为 0.169 ~ 0.905,平均 0.696^[22]。陕西省小麦品种 33 个 SSR 标记位点的等位变异数目平均 4.181 个; PIC 变幅为 0.110 ~ 0.827,平均 0.481;其中 2000 年以后审定的 10 个小麦品种间平均 GS 为 0.642^[23]。青海省小麦品种 20 个 SSR 标记位点的等位变异数目平均 4.050 个,品种间平均 GS 为 0.531 ~ 0.975^[24]。河北省小麦品种 SSR 标记位点的变异数目仅高于四川省小麦品种,而低于其他省区。D. Bostsein 等^[29]认为, $PIC \geq 0.5$,为高度多态性位点; $0.25 < PIC < 0.5$,为中度多态性位点; $PIC \leq 0.25$,为低度多态性位点。据此,本研究分析的河北省小麦品种 79 个 SSR 标记位点均属于高度多态性位点,平均 PIC 显著高于其他省区。本研究还通过计算 79 个 SSR 标记位点的 N_e (1.644 ~ 20.333, 平均 4.708) 和 H' (0.148 ~ 1.102, 平均 0.544) 表明,河北省小麦品种基因型多样性在大多数 SSR 位点上较为狭窄。河北省小麦品种间平均 GS 均低于其他省区,说明河北省审定的小麦品种的遗传多样性水平低于全国平均水平。

本研究还揭示了河北省审定小麦品种的 A、B、D 3 个染色体组的 SSR 位点平均变异数目存在 $B > A > D$ 的关系; PIC 平均值表现为 $B > D > A$,与李远等^[25]的研究结果一致。而染色体组间 PIC 平均值的大小关系有别于黄淮麦区 ($B > A > D$)^[2]。SSR 位点平均变异数目在 3 个染色体组间的大小关系与赵军海等^[30]、J. Plaschke 等^[31]的 $B > D > A$ 结果不一致,但是与蒲艳艳等^[20]、郭小丽等^[32]的研究结果一致,而且均表现为 B 染色体组 SSR 标记位点的变异数目最大,表明该染色体组的 SSR 多态性最高。

本研究首次利用 SSR 标记技术比较分析了河

北省育成小麦品种较多的单位之间的品种多样性,发现河北省农林科学院粮油作物研究所选育的小麦品种遗传基础最为丰富,石家庄市小麦新品种新技术研究所选育的小麦品种与其他单位的品种存在较大的异质性。

综上所述,河北省小麦品种遗传多样性较低,遗传基础狭窄。建议育种单位在选配亲本时,重视引入具有不同遗传背景、优异性状互补的品种资源作亲本,选育出更多遗传背景丰富的小麦优良新品种。

参考文献

- [1] Lelley T, Stachel M, Gausgruber H, et al. Analysis of relationships between *Aegilops tauschii* and the D genome of wheat utilizing microsatellites [J]. *Genome*, 2000, 43: 661-668
- [2] 詹克慧, 王林海, 程西永, 等. 黄淮麦区部分小麦种质资源的遗传差异分析[J]. *农业生物技术学报*, 2006, 14(4): 578-584
- [3] 解超杰, 倪中福, 孙其信, 等. 利用小麦微卫星定位一个来自野生二粒小麦的抗白粉病基因[J]. *遗传学报*, 2001, 28(11): 1034-1039
- [4] 李稳香, 詹庆才. 杂交水稻种子纯度 SSR 指纹图谱标记鉴定技术研究[J]. *中国种业*, 2006(3): 21-22
- [5] Röder M S, Korzun V, Wendehake K, et al. A microsatellite map of wheat [J]. *Genetics*, 1998, 149: 2007-2023
- [6] Struss D, Plieske J. The use of microsatellite marker for detection of genetic diversity in barley populations [J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 97: 308-315
- [7] Chen X, Temnykh S, Xu Y, et al. Development of a microsatellite framework map providing genome-wide coverage in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Theor Appl Genet*, 1997, 95: 552-567
- [8] 袁力行, 傅骏骅, Warburton M, 等. 利用 RFLP, SSR, AFLP 和 RAPD 标记分析玉米自交系遗传多样性的比较研究[J]. *遗传学报*, 2000, 27(8): 725-733
- [9] 胡铁柱, 曹廷杰, 冯素伟, 等. 澳大利亚与黄淮小麦品种的 SSR 遗传多样性比较[J]. *河南农业科学*, 2012(8): 5-8, 89
- [10] 李艳丽, 孙树贵, 武军, 等. 部分美国及我国小麦品种的遗传多样性分析[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(6): 1066-1071
- [11] 高秀琴, 兰进好, 林琪, 等. 我国小麦部分抗旱种质遗传多样性的 SSR 分析[J]. *沈阳农业大学学报*, 2008, 39(2): 141-144
- [12] 杨德光, 翁跃进, 董玉琛, 等. 部分耐盐小麦品种(系) SSR 位点遗传多样性研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2005, 6(1): 9-14
- [13] 张玲丽, 孙道杰, 冯毅, 等. 中国小麦地方品种的 SSR 遗传多样性分析[J]. *西北农林科技大学学报*, 2010, 38(7): 86-90, 97
- [14] 傅晓艺, 刘桂茹, 杨学举. 中国部分优质小麦品种(系)遗传多样性的 SSR 分析[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(5): 776-780
- [15] 黄玮, 杨敏, 秦保平, 等. 利用 SSR 分子标记分析彩色小麦的亲缘关系与遗传多样性[J]. *作物学报*, 2012, 38(6): 1135-1139
- [16] 陈先红, 徐利远, 彭正松, 等. 中国西南地区小麦品种(系)遗传多样性的 SSR 分析[J]. *麦类作物学报*, 2008, 28(1): 6-10
- [17] 武玉国, 吴承来, 秦保平, 等. 黄淮麦区 175 个小麦品种的遗传多样性及 SSR 标记与株高和产量相关性状的关联分析[J]. *作物学报*, 2012, 38(6): 1018-1028
- [18] 潘玉朋, 李立群, 郑锦娟, 等. 黄淮麦区今年大面积推广小麦品种的遗传多样性分析[J]. *西北农业学报*, 2011, 20(4): 47-52
- [19] 耿惠敏, 刘红彦, 宋玉立, 等. 40 个河南省审定小麦品种遗传多样性的 SSR 标记分析[J]. *西北农业学报*, 2005, 14(2): 27-32
- [20] 浦艳艳, 程凯, 李斯深. 山东省近期育成品种遗传多样性的 SSR 分析[J]. *分子植物育种*, 2011, 9(4): 443-449
- [21] 傅体华, 王春梅, 任正隆. 四川育成小麦品种的 SSR 遗传多态性及系谱关系[J]. *四川农业大学学报*, 2007, 25(1): 1-8
- [22] 王宏飞, 李宏琪, 丛花, 等. 新疆小麦地方品种遗传多样性的 SSR 分析[J]. *中国农业科技导报*, 2010, 12(6): 98-104
- [23] 李学军, 潘玉朋, 王小利, 等. 陕西育成小麦品种的遗传多样性演变[J]. *西北农林科技大学学报*, 2011, 39(4): 48-54
- [24] 陈立华, 邓晓青, 吴昆仑, 等. 青海省小麦主栽品种遗传多样性的 SSR 标记分析[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(2): 38-42, 82
- [25] 李远, 赵檀, 王睿辉, 等. 河北省小麦品种基于 SSR 标记的遗传多样性研究[J]. *河北农业大学学报*, 2012, 35(4): 1-5
- [26] 杨兰泽, 高静. 一种简单、快速提取 DNA 的方法[J]. *生命的化学*, 1999, 19(4): 183
- [27] 董玉琛, 曹永生, 张学勇, 等. 中国普通小麦初选核心种质的产生[J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(1): 1-8
- [28] Nei M, Li W H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases [J]. *PNAS*, 1979, 76: 5269-5273
- [29] Botstein D, White R L, Skolnick M, et al. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms [J]. *Am J Hum Genet*, 1980, 32(3): 314-331
- [30] 赵军海, 冯国华, 刘东涛, 等. 小麦育种亲本材料遗传多样性的 SSR 分析[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(6): 982-986
- [31] Plaschke J, Börner A, Wendehake K, et al. The use of wheat aneuploid for the chromosomal assignment of microsatellite loci [J]. *Euphytica*, 1996, 89(1): 33-40
- [32] 郭小丽, 刘冬成, 罗铮, 等. 我国部分优质小麦品种遗传差异的 SSR 标记分析[J]. *麦类作物学报*, 2004, 24(1): 1-5